E/CONF.39/A/42
29 Sept. 1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.3.2.2

France

METHODES D'ESTIMATION DE LA FREQUENCE ET DU VOLUME DES CRUES UTILISEES PAR LES HYDROLOGUES FRANCAIS DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

Par J. RODIER,
Chef de la Section Hydrologie
à l'Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer
Chef de la Division Hydrologie
a l'Electricité de France,
Inspection Générale
pour la Coopération Hors Métropole

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

L'estimation des débits de crues exceptionnelles est une opération essentielle pour la plupart des projets en rapport avec l'hydraulique, surtout dans les pays neufs. Dans les régions européennes, en considérant les dimensions des ouvrages qui depuis des siècles ont résisté aux crues, il est souvent possible d'éviter des déboires aux ouvrages neufs sans calculs hydrologiques bien savants. Mais, dans beaucoup d'Etats en voie de développement, des ouvrages aussi anciens n'existent pas et il n'est pas possible d'éviter des études hydrologiques sérieuses. Les désastres accumulés jusqu'ici justifient amplement les efforts à entreprendre pour l'étude des crues, étude difficile et pour laquelle l'hydrologue est assez mal armé.

Les méthodes utilisées varient selon la fréquence des crues qui intéressent le projeteur (fréquence qui résulte elle-même des risques admissibles), la superficie du bassin versant, la nature du régime et les données d'observation dont on dispose. Il est d'ailleurs prudent d'employer plusieurs méthodes et de confronter les résultats.

Les hydrologues Français ont eu la chance d'étudier les climats extrèmement variés de l'Europe Occidentale, des régions méditerranéennes, de l'Afrique Occidentale et Centrale, du Pacifique, du Moyen et de l'Extrème Orient, des Antilles et de l'Amérique du Sud, ce qui leur a permis d'utiliser une gamme assez complète de méthodes de calcul de crues. Il n'est pas question de les présenter toutes, ni de faire une analyse approfondie de chacune de ces méthodes ; on se contentera d'exposer ci-après les grandes lignes de celles qui sont le plus souvent utilisées.

I - CAS des GRANDS BASSINS d'AFRIQUE OCCIDENTALE et CENTRALE -

C'est le cas des fleuves à régime tropical ou tropical de transition, dont le bassin est supérieur à 60 000 km2, et pour lequels on dispose d'au moins une station observée depuis 50 ans environ.

Le caractère régulier des crues et l'existence de corrélations entre les débits de crues de fleuves voisins permettent l'emploi de calculs statistiques directs sur les débits. Les indications que l'on possède sur les crues très anciennes du NIL qui appartient à ce groupe sont d'une aide précieuse, malgré leur caractère plutôt qualitatif.

Le processus de l'étude comprend trois groupes d'opérations essentiels :

a) Vérification des observations limnimétriques, recherches de données historiques, contrôle des jaugeages anciens, exécution de jaugeages de hautes eaux complémentaires afin d'obtenir une courbe de tarage valable pour les crues. Grâce à la forte hydraulicité des dernières années, des mesures de débits complètes ont pu être effectuées pour la crue décennale sur de nombreux cours d'eau. Ce groupe d'opérations extrèmement important est souvent négligé.

b) Ajustement d'une relation statistique à la distribution expérimentale des débits de crues : lois de GOODRICH, de GIBRAT-GAUSS ou de PEARSON III ; ce sont les trois relations les plus employées par les hydrologues Français pour ces régions. On déduit de cet ajustement le débit centenaire ou millénaire recherché.

c) Recoupement avec les témoignages historiques, comparaison avec les cours d'eau mieux connus.

L'application de ces méthodes au NIGER à KOULIKORO a conduit, par exemple, aux résultats suivants :

	GOODRICH	GIBRAT-GAUSS	PEARSON III
- Crue décennale :	7 900 m3/s	7 850 m3/s	7 800 m3/s
- Crue centenaire :	9 600 "	9 600 "	9 500 "
- Crue millénaire :	10 900 "	11 000 "	10 800 "

Cette méthode doit être modifiée lorsque le cours d'eau présente de très vastes plaines d'inondation (NIGER dans le delta central, LOGONE Inférieur). Dans ce cas, l'évaluation des crues exceptionnelles passant dans le lit de la rivière, doit être déterminée par ajustement graphique sur les points expérimentaux. Dans certains cas, la courbe admettrait presque une asymptote.

L'exemple de la dernière crue du CONGO semble indiquer que cette méthode générale ne s'applique pas à ce fleuve. Il est probable que le calcul devrait être mené comme indiqué plus haut pour chaque affluent principal et qu'il faudrait examiner ensuite l'éventualité d'une coïncidence au moins partielle de ces crues.

Bien entendu, la méthode est inapplicable ou d'une utilisation dangereuse pour des régimes très irréguliers, du type méditerranéen par exemple.

Pour des bassins plus petits, dont la superficie est cependant supérieure à 7 ou 8 000 km2, les périodes d'observations dont on dispose sont généralement beaucoup plus courtes. Dans ce cas on évalue d'abord la crue décennale ce qui, grâce aux comparaisons avec des bassins voisins et à l'étude des précipitations, n'est pas très difficile. Notons à cette occasion le grand intérêt des crues de cette fréquence : elles ont une réelle signification et peuvent se calculer assez facilement, alors qu'une crue millénaire est un concept bien théorique. Il est donc possible de disposer d'une base relativement solide pour une fréquence déjà assez faible. Cette crue décennale sera souvent évoquée dans ce qui suit.

On choisit ensuite, d'après des exemples mieux connus, un coefficient de majoration entre la crue décennale et la crue de fréquence cherchée. Pour un même régime, ce coefficient devra être d'autant plus élevé que le bassin est plus petit et les crues plus violentes (en liaison avec la pente et la hauteur de précipitations annuelle).

II - CAS des PETITS et TRES PETITS BASSINS - (moins de 200 km^2)

Il y a 15 ans, la documentation était inexistante pour ce type de cours d'eau. En Afrique et à Madagascar, les projeteurs s'inspiraient des normes européennes. A la Réunion où les crues sont extrêmement fortes, on laissait d'énormes débouchés sous les ponts. On sait maintenant qu'en Afrique Equatoriale, Occidentale et à Madagascar, les débits spécifiques varient de 60 l/s.km2 à 12 000 l/s.km2, ce qui montre bien que les normes européennes étaient insuffisantes dans de nombreux cas et conduisaient à des dépenses exagérées dans d'autres.

Lorsque le réseau routier s'est développé dans des régions difficiles et que des plans de développement ont prévu la constitution de petits barrages, le nombre de ponts et surtout de déversoirs détruits fût considérable. Il devenait indispensable de procéder à des études directes de crues. Ces études ne pouvaient être faites que par la méthode analytique qui comporte un examen détaillé des averses et la reconstitution des crues qui en résultent. Il n'était pas question de procéder, pour chaque petit bassin à des observations complètes sur le terrain, ce qui aurait coûté plus cher en général que le prix de l'ouvrage à construire et aurait duré bien trop longtemps.

La solution adoptée consiste à procéder, d'une part, à une étude générale des pluies et, d'autre part, à l'observation de bassins expérimentaux. On parvient ainsi à dégager des normes. L'étude a été effectuée de façon plus ou moins systématique à l'échelle de 1 ancienne A.O.F. et de l'ancienne A.E.F., soit sur un ensemble de plusieurs millions de km2.

Sur les bassins expérimentaux, on procède à l'observation simultanée des débits et des précipitations, avec étude des répartitions spatiale et temporelle. Ceci nécessite l'installation de pluviomètres, de pluviographes et de limnigraphes, et le maintien sur place d'un spécialiste suffisamment qualifié pendant toute la saison des pluies. Le dépouillement et l'interprétation, effectués en général par la méthode des hydrogrammes unitaires, donne la forme-type de l'onde de crue et le coefficient de ruissellement (ou la capacité d'absorption) pour les fortes crues. Il reste à déterminer, pour la crue décennale par exemple, l'averse décennale et les conditions de saturation. L'étude systématique des précipitations de 24 heures, ou de plus faible durée, est actuellement en cours, mais dans chaque cas particulier, une étude provisoire a permis de calculer l'averse décennale avec ses conditions de saturation. Une grande simplification dans l'Afrique à l'Ouest du CONGO réside dans le fait qu'au point de vue statistique, on peut confondre en pratique l'averse isolée avec les précipitations en 24 heures. Ainsi, il suffit d'analyser les précipitations de 24 heures et de chercher la forme-type du diagramme d'intensité, car il y a bien une forme-type.

Le débit de crue ramené à 1 km^2, ou débit spécifique, varie avec la superficie. Il a fallu donner tous les résultats pour une même superficie. On a choisi une superficie standard : 25 km^2. Pour les bassins plus grands, une seconde superficie de 100 km^2 a été choisie. Pour les plus petits, on hésite actuellement entre 2, 4 ou 5 km^2.

C'est ainsi que les débits de crue décennale ont été déterminés d'après les observations portant sur près de 60 bassins expérimentaux, étudiés soit dans le cadre d'études générales (bassins financés par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer ou par l'ex-Service Hydraulique de l'A.O.F.), soit à l'occasion d'études particulières ; mais ces études ont été exécutées ou contrôlées par le même Organisme et, chaque fois, les études ont été conduites en vue d'obtenir la crue décennale, même si l'objectif principal était différent.

Un tableau des débits de crues décennales, avec indications des facteurs conditionnels correspondants, a été diffusé dans le "Rapport préliminaire sur les résultats de la campagne 1959 en Afrique Occidentale". Une étude plus approfondie a été effectuée pour la Côte d'Ivoire. Enfin, tout récemment, le Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques a publié : "Estimation des débits de crues décennaux en régime tropical", par C.AUVRAY, qui a donné une première synthèse avec un ensemble provisoire d'abaques permettant de calculer les crues décennales à partir des données pluviométriques et des caractéristiques physiques du bassin.

Bien entendu, ce travail n'est pas complet ; il y a d'importantes lacunes dans des régions où le nombre de bassins expérimentaux a été insuffisant. Les données pour 25 km2 sont nombreuses, mais elles sont insuffisantes pour 5 et 100 km2. Enfin, si cette méthode donne de bons résultats en Afrique Noire pour la crue décennale, il faut pour la crue cinquantenaire, opérer avec prudence, surtout dans les régions désertiques et subdésertiques où les précipitations cinquantenaires sont mal connues, et dans les zones où les sols sont tels que le facteur "saturation" est plus important que le facteur "précipitations".

III - CAS des BASSINS de SUPERFICIE MOYENNE - (200 à 6 000 km^2)

En Afrique Noire, les crues exceptionnelles de ce genre de cours d'eau sont encore mal connues ; le type de précipitations qui leur donnent naissance est tel que la méthode précédente est inapplicable ; le nombre de stations observées directement depuis seulement quelques années est dérisoire, sans que l'on puisse entrevoir à bref délai une amélioration. Les études pour aménagements rizicoles, qui correspondent souvent à des superficies de 500 à 2 000 km^2, sont effectuées actuellement avec un caractère scientifique et intensif, de façon à essayer de dégager des méthodes et des ordres de grandeur pour les bassins de cette catégorie. On a bien tenté par endroits de construire des courbes théoriques de variations du débit de crue spécifique avec la superficie, en s'appuyant sur les données des très grands bassins et des très petits bassins, par exemple pour le NIGER Supérieur, mais de telles courbes sont rares et leur utilisation est extrêmement délicate. Cette méthode se rattache à l'emploi de formules empiriques, type MYER : $Q = c\ A^n$ (A : superficie du bassin versant, Q : débit en m^3/s) mais, pour déterminer les coefficients pour une fréquence donnée, c et n, il faut des données d'observations suffisantes qui sont très rarement disponibles en région en voie de développement ; il n'est donc pas possible de disposer de telles formules, ni d'utiliser des méthodes de corrélation ou de transposition. Des solutions seront certainement trouvées dans quelques années; actuellement, il n'y a guère de méthodes générales et les résultats que l'on obtient sont encore bien incertains.

IV - CAS de MOYENS ou GRANDS BASSINS avec PERIODES d'OBSERVATIONS ASSEZ LONGUES et REGIMES IRREGULIERS -

Il s'agit de régions telles que le Sud de Madagascar, les parties méridionales de l'Amérique du Sud, où les crues exceptionnelles résultent, comme en Amérique du Nord, de précipitations du genre cyclonique durant plusieurs jours ou même 15 jours à 3 semaines et couvrent de très grandes surfaces. On utilise alors une méthode qui rappelle un peu celle des petits bassins. Une étude générale des précipitations permet d'estimer soit un épisode pluvieux de fréquence très rare, soit un épisode pluvieux supérieur à ce qui est possible. Puis on reconstitue la crue par des méthodes analytiques complexes, telle que la méthode de LARRIEU utilisée en France. Elle consiste à décomposer le bassin versant en bandes isochrones sur lesquelles est délimité le ruissellement pour chaque tranche de précipitations, et à reconstituer la crue en rassemblant, compte tenu des temps de parcours, les apports des principales bandes pour l'ensemble de l'épisode pluvieux. Une telle méthode a été utilisée par exemple pour le calcul des crues du Rio NEGRO en URUGUAY. Elle se rattache à certaines méthodes américaines dans lesquelles la précipitation "impossible" est déterminée sur des bases hydrométéorologiques beaucoup plus sûres, mais ceci suppose des données météorologiques qui ne sont pas disponibles dans beaucoup de régions en voie de développement.

V- CAS des TRES PETITS BASSINS en REGION de TRES FORTES PRECIPITATIONS CYCLONIQUES (Antilles, Réunion, Est-Madagascar, îles montagneuses du Pacifique) -

Il s'agit de régions où les précipitations annuelles varient de 4 000 à 12 000 mm et où les précipitations de 24 heures peuvent atteindre et dépasser 1000 mm. La méthode employée consiste à établir la courbe-enveloppe des précipitations maximales mondiales en fonction de la durée et à appliquer la méthode des hydrogrammes unitaires avec un coefficient de ruissellement extrapolé à partir des données des quelques bassins expérimentaux installés dans ces régions. Il est d'ailleurs compris en général entre 75 et 90 %. Ceci a déjà été appliqué à la Réunion où une étude systématique des crues exceptionnelles a été entreprise, et en Nouvelle-Calédonie. Bien entendu, la méthode est inapplicable lorsque le terrain très meuble conduit à la création de barrages naturels dont la rupture créé la crue exceptionelle.

VI - ENFIN, il RESTE le CAS DESESPERE des MOYENS et GRANDS BASSINS à REGIME IRREGULIER et DONNEES d'OBSERVATIONS INSUFFISANTES -

Il est possible d'effectuer des comparaisons directes des bassins analogues soumis au même régime et mieux connus. Pour l'emploi méthodique de telles comparaisons, on dessine une courbe-enveloppe des débits spécifiques en fonction de la superficie du bassin. En coordonnées logarithmiques, une telle courbe est généralement une droite, mais pour ne pas perdre de vue la notion de fréquence, il est avantageux de porter d'abord la droite correspondant à la fréquence décennale qui, elle, peut être déterminée avec une certaine sécurité ; puis on dessine comme on peut la courbe de fréquence plus rare ou la courbe plafond en s'inspirant de la forme de la courbe décennale, en tenant compte de la position des points les plus élevés et en veillant à ce que l'écart entre les deux courbes ait une valeur vraisemblable. Il est bon de veiller à ce que les points représentatifs correspondent à des cours d'eau ayant le même régime de crues exceptionnelles. Cette méthode a déjà été utilisée pour déterminer un ordre de grandeur des crues exceptionnelles de l'IKOPA et de la BETSIBOKA à Madagascar. Elle demande une grande expérience si l'on ne veut pas arriver à des résultats aberrants.

Cet exposé met en évidence la grande variété des méthodes d'estimation utilisées ; il montre aussi la nécessité d'un travail considérable sur le terrain : études de bassins expérimentaux, exploitation du réseau général hydrométrique, pluviométrique et pluviographique avec contrôles fréquents et campagnes systématiques de mesures de hautes eaux. Tout ce travail doit être fait dans le cadre d'un Service Hydrologique, sans attendre l'étude des grands projets d'aménagement, barrage ou réseau d'irrigation, car à ce moment-là, il est trop tard pour entreprendre des observations hydrologiques.

295 F - Oct.1962 - 1,000